

Liberalización económica y emisiones de CO₂ en México: Un análisis de series de tiempo, 1972-2019

*Economic liberalization and CO₂ emissions in Mexico:
a time series analysis, 1972-2019*

Rosy Wendoli Carrillo-Ovando ^a | Arturo Bocardo-Valle ^b

Recibido: 28 de agosto de 2021.

Aceptado: 14 de diciembre de 2021.

^a Universidad Veracruzana, Facultad de Economía, Xalapa, México. Contacto: wencaova19@hotmail.com

^b Universidad Veracruzana, Facultad de Economía, Xalapa, México. Contacto: abocardo@uv.mx

Resumen: Este artículo analiza el proceso de liberalización económica en México y su relación con las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) con el objetivo de validar la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA). En la metodología aplicada se utilizó un modelo de series de tiempo de variables no estacionarias a través de mecanismos de corrección de error (MCE) para los subperiodos 1972-1990, 1991-2006 y 2007-2019, acompañados de pruebas de cambio estructural, raíces unitarias y cointegración. El estudio demuestra la existencia de la CKA para México, además se comprueba el efecto positivo de la apertura comercial y el gasto público sobre las emisiones de CO₂; de forma contraria la participación del sector industrial y el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles contribuyen negativamente a la disminución de emisiones de CO₂. A pesar de los resultados, las emisiones de CO₂ aún se encuentran lejos del rango requerido, aunque se advierte que el descenso observado puede ser temporal, dado que sigue habiendo apoyo sostenido a los combustibles fósiles.

Palabras clave: Emisiones de CO₂; Curva de Kuznets Ambiental; liberalización económica; modelo de series de tiempo; cambio estructural.

Abstract: *This article analyzes the process of economic liberalization in Mexico and its relationship with carbon dioxide emissions (CO₂) in order to validate the hypothesis of the Environmental Kuznets Curve (EKC). Within the methodology, a time series model of non-stationary variables is used through error correction mechanisms (ECM) for the sub-periods 1972-1990, 1991-2006 and 2007-2019, accompanied by structural change, unit roots and cointegration tests. The study demonstrates the existence of the EKC for Mexico, in addition, the positive effect of trade liberalization and public spending on CO₂ emissions is verified; on the contrary, the participation of the industrial sector and the consumption of energy from fossil fuels contribute negatively to the reduction of CO₂ emissions. Despite the results, CO₂ emissions are still far from the required range, it is noted that the observed decline may be temporary as there continues to be sustained support for fossil fuels.*

Keywords: *CO₂ emissions; Environmental Kuznets Curve; economic liberalization; time series model; structural change.*

Introducción

Durante varias décadas diferentes países han hecho esfuerzos especiales para fomentar la liberalización económica, como una forma de impulsar el crecimiento económico. Esta tendencia ha provocado un incremento en el consumo de energía y, por tanto, un aumento cada vez mayor del consumo de combustibles fósiles, que es el mayor responsable de la generación de gases de efecto invernadero (GEI). Entre los principales GEI las emisiones de CO₂ están consideradas como una de las que más contribuye al deterioro medioambiental y, en especial, al fenómeno del cambio climático, debido a su larga permanencia en la atmósfera (de 50 a 200 años).

En la última década, las emisiones han aumentado 10 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), más que en cualquier década anterior desde la era preindustrial, de acuerdo con un informe del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en

inglés) (IPCC, 2014). Este incremento proviene principalmente del sector energético (47%), la industria (30%) y el transporte (11%).

Debido a esto, se observa un calentamiento progresivo de la superficie terrestre, el cual se refleja en el derretimiento de los glaciares, el cambio en el ciclo hidrológico, la falta de alimentos, los fenómenos meteorológicos extremos, las migraciones, las enfermedades, las pandemias, entre otros. Pese a esta problemática, las preocupaciones teóricas desde la economía se remontan a la década de los 80.

Posterior a la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) la economía comenzó a estudiar la relación entre el crecimiento económico y el medio ambiente con la intención de guiar las políticas de mitigación del cambio climático.

De este modo, se empezó a consolidar la economía ambiental, una nueva disciplina que intenta dar una respuesta integral a las relaciones entre economía y medio ambiente, lo que condujo al desarrollo de una investigación progresiva en este campo. Dentro de las diversas investigaciones realizadas, la Hipótesis de la CKA es una de las más relevantes, cuyo antecedente es la publicación del *World Development Report* del Banco Mundial (1992), en el cual se concluyó que el crecimiento económico en el largo plazo tiene un efecto positivo en el medio ambiente.

A raíz de estas conclusiones se han desarrollado diversos estudios teóricos y empíricos que analizan la relación entre el ingreso y el medio ambiente, algunos validando los resultados y otros refutándolos. Es importante mencionar que las investigaciones se han concentrado en los países desarrollados gracias a la disponibilidad de datos ambientales, los cuales presentan una deficiencia en la mayoría de los países en desarrollo.

Con el paso de los años y ante la necesidad de disponer de más evidencia se han abierto nuevas líneas de investigación que adicionan otras variables, entre las que se encuentra la liberalización económica y, en particular, la apertura comercial, uno de sus principales efectos. Así, los costos, los beneficios y sus implicaciones son tema de debate y una cuestión relevante que define la elaboración de políticas a nivel mundial.

Durante las últimas décadas los países latinoamericanos han sufrido un proceso de transformación que se traduce en un cambio en su estrategia de desarrollo y de las políticas económicas, “con el objetivo de dar prioridad al mercado como mecanismo asignador de recursos y con la expectativa de orientar en mayor medida al aparato productivo hacia las exportaciones” (Agosin y Ffrench-Davis, 1993, p. 41).

Esto dio pie a un intenso debate acerca de los efectos de la liberalización económica en el medio ambiente, lo que cobró un especial interés en los países en desarrollo, puesto que son particularmente “vulnerables a los efectos del cambio climático, debido a su posición geográfica” (Naciones Unidas, 2015, p. 9) y las condiciones socioeconómicas de su población.

Los primeros autores que estudiaron los efectos de la liberalización económica y sus consecuencias en el medio ambiente en México fueron Grossman y Krueger (1991), quienes recurrieron a la CKA

para sustentar que el libre comercio con el tiempo conduciría a mejores condiciones ambientales en los países en desarrollo.

Se encuentra que México es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, de hecho, es el décimo tercer país con mayores emisiones de GEI. Al respecto, el Instituto Nacional de Cambio Climático (INECC) llevó a cabo un estudio en el que encontró que el 20 % de los municipios en los que se divide el país tienen un nivel de vulnerabilidad muy alto. “Además, que tiene 68% de la población y 71% de la economía en una situación de alta vulnerabilidad. Se estima que el cambio climático tendría un costo de 6.9% del PIB para 2050 y 18.3% del PIB para 2100” (Galindo, 2010, p. 32).

Por todo lo anterior, la relevancia que ha adquirido el fenómeno del cambio climático en los últimos años y la urgencia de una transformación hacia formas más sustentables es la principal motivación de la presente investigación. Algunas críticas han expuesto las debilidades de la hipótesis CKA, de las que surge la importancia de seguir analizando las relaciones causales existentes entre el crecimiento económico y el medio ambiente, con el fin de obtener conclusiones más sólidas.

A propósito, este trabajo pretendió resolver algunas de las críticas, adicionando otras variables explicativas de las emisiones de CO₂, sobre todo las que están relacionadas con la liberalización económica. Además, se tomaron en cuenta los cambios estructurales sufridos en México durante las últimas décadas; primero, para demostrar que existen otras variables diferentes del PIB que inciden en la calidad medioambiental, y segundo, para hacer un análisis más completo.

En cuanto a la estructura, este estudio se organiza en cinco secciones. En la primera se exponen las principales consideraciones sobre los efectos ambientales de la liberalización económica. En la segunda se presenta la teoría de la CKA y sus hipótesis complementarias, específicamente la relación entre la liberalización económica y la calidad ambiental. En la tercera parte se detalla la metodología aplicada y se describen los datos utilizados y la estrategia de análisis. En la cuarta sección se presentan los resultados obtenidos. Finalmente, en el último apartado se expone la discusión y las conclusiones de la investigación.

1. La liberalización económica y el medio ambiente

1.1. Antecedentes y problemática

En México, a raíz de la crisis de 1982, se observa un cambio en la estrategia de desarrollo y de las políticas económicas, con la expectativa de orientar, en mayor medida, el aparato productivo hacia las exportaciones, permitir la entrada de inversión extranjera y con ello estimular el crecimiento económico, principalmente por medio de la apertura comercial.

Referente al tema, García explicó que “La apertura comercial inició formalmente en 1986 con el ingreso al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT)” (2011, p. 6), con lo que inició un proceso acelerado de desmantelamiento del sistema de protección comercial (que había promovido la industrialización nacional a través del modelo de sustitución de importaciones). Este

proceso de apertura comercial se fortaleció en 1994 con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Además de las medidas económicas, también se observó la adecuación y desregulación de ordenamientos jurídicos, así como la tendencia a la reducción de la participación del Estado.

Como consecuencia de estos cambios, México se convirtió en el principal receptor de inversión de Estados Unidos (EUA). De acuerdo con Martínez y Romero (2004) “la Inversión Extranjera Directa (IED) como proporción del PIB del período 1995-2000 aumentó 3.3% del PIB con respecto a su nivel en el período 1990-1994” (2004, p. 32); así, la apertura modificó el perfil económico y comercial del país. Estas diversas etapas económicas por las que ha transitado el país han dado lugar a cambios en su política ambiental.

Una de las posturas acerca de la apertura comercial es que produjo efectos negativos para el medio ambiente, por causa de la demanda del insumo de energía para el transporte, producción de manufacturas, funcionamiento de establecimientos, empresas comerciales industriales, prestación de servicios, uso doméstico, etc., la cual ha crecido de manera considerable para proveer el insumo necesario y mantener el ritmo del crecimiento económico.

Ante esta problemática se hizo evidente la necesidad de implementar políticas públicas tanto para la adaptación a las nuevas condiciones climáticas como para la mitigación de las emisiones. En la actualidad, la política ambiental de México se rige, básicamente, por los compromisos firmados ante organismos internacionales, y está enfocada principalmente en la adaptación y la mitigación del cambio climático.

A principios del siglo XXI se aprobó la Ley General de Cambio Climático (LGCC), la cual entró en vigor el octubre de 2012, por lo que se convirtió en la primera en América Latina. Así mismo, se insertó al Acuerdo de París, donde se comprometió a tomar acciones en contra del calentamiento global y bajar las emisiones contaminantes; no obstante, las metas se ven muy lejanas, pues se sigue privilegiando el uso de combustibles fósiles, además de las energías tradicionales, sin permitir una transición hacia energías renovables, no se están realizando correctamente las evaluaciones de impacto ambiental para megaproyectos ni la reducción del presupuesto que se destina al sector ambiental, y las políticas de mitigación y adaptación globales no enfocadas a los sectores ni a las regiones más vulnerables del país.

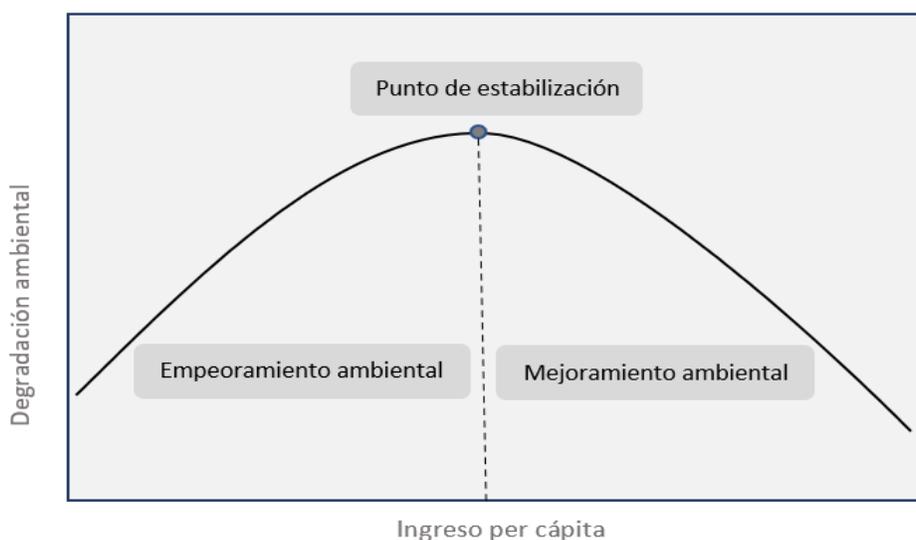
Tan solo en 2019 se registró la temperatura más cálida de la historia, y de 2010 a 2019 fue la década con las temperaturas más altas. Adicionalmente, los daños económicos por desastres naturales en el 2020 fueron de 146 000 millones de dólares, el 0.17 % del PIB global.

Por esta razón, el propósito del presente trabajo es validar los efectos de la liberalización económica en México en el periodo 1972-2019, empleando la CKA como marco metodológico. Para cumplir con el objetivo es preciso conocer la teoría de la CKA, así como los estudios que se han realizado en relación con el uso de su metodología.

2. La Curva de Kuznets Ambiental aplicada a la liberalización económica

En los años 90 se llevaron a cabo las primeras aplicaciones de esta hipótesis, debido a un creciente interés en los asuntos ambientales y a una mayor disponibilidad de datos relacionados con el tema. En cuanto a esto, se consideran estudios pioneros los efectuados por Grossman y Krueger (1991), Shafik y Bandyopadhyay (1992), Panayotou (1993), Shafik (1994), Selden y Song (1994) y Grossman y Krueger (1995), quienes demostraron que algunas emisiones de contaminantes mostraban una tendencia para diversos niveles de ingreso similar al de una U invertida. Este hallazgo fue denominado Curva de Kuznets Ambiental (CKA) por su similitud con la Curva propuesta por Simon Kuznets (1955) en la década de los 50 (ver **Figura 1**).

Figura 1
Curva de Kuznets Ambiental (CKA)



Fuente: Elaboración propia con base en Roca y Padilla (2003)

Las investigaciones de los autores mencionados sentaron las bases para la aplicación de nuevos campos de análisis de la CKA, de modo que a partir de ellas se han desarrollado una serie de análisis empíricos en torno a la hipótesis, ya sea para corroborarla y validarla con distintas muestras de países y variables de deterioro ambiental, o para criticar la sencillez en su formulación e introducir otras variables además del Producto Interno Bruto (PIB) per cápita para explicar de manera más integral la relación entre calidad ambiental y desarrollo económico.

La CKA se ha estudiado en forma simple, es decir, en la mayoría de los casos solo se analiza como variable explicativa al PIB per cápita. Sin embargo, con el paso de los años se fue desarrollando la investigación empírica que introduce nuevas variables para explicar de mejor manera la realidad. Una de estas variables es la liberalización económica, una tendencia compleja que abarca muchas

fuerzas y efectos (Frankel, 2009), entre los cuales está el grado de apertura comercial, aunque no es el único, pero quizás el más importante y el más estudiado.

Por su parte, Figini y Santarelli (2002) llevaron a cabo una investigación en países de diversas etapas de desarrollo económico, basada en tres efectos de la liberalización económica: apertura comercial, IED y reducción del tamaño del gobierno medido a través del gasto público. En el estudio encontraron que la apertura comercial y la IED no afectan la calidad ambiental, mientras que el papel creciente del Estado tiene un efecto negativo y significativo en países desarrollados. Con base en este análisis y gracias a que el mayor porcentaje de IED en México se dirige al sector industrial, se decidió utilizar las variables apertura comercial, participación del sector industrial y el papel del Estado, además del consumo de energía procedente de combustibles fósiles. Algunas investigaciones relacionadas con estas variables se muestran en la **Tabla 1**.

Según los diferentes estudios que se han hecho hasta el momento, el principal aprendizaje que se tiene es que las soluciones no son universales; por el contrario, es necesario considerar otras variables explicativas del deterioro ambiental, analizar las características económicas, políticas, ambientales y sociales específicas de cada país para establecer políticas más precisas.

Aunque algunas investigaciones han identificado que el crecimiento económico tiene un efecto negativo para el medio ambiente se debe considerar que en los países en desarrollo se puede convertir en un efecto positivo, dado que es esencial para poder demandar el cuidado y la protección del medio ambiente. De igual manera, existen otros determinantes que pueden tener fuertes implicaciones para que el crecimiento económico por sí solo no mejore el medio ambiente, tales como la alta desigualdad en la distribución del ingreso (Bimonte, 2002; Magnani, 2000), la ineficiencia de las instituciones (Hettige et al., 2000; Panayotou, 1997) y la inestabilidad política.

Tabla 1
Estudios empíricos de la CKA

Variable	Autores	Resultados
Apertura comercial	Grossman y Krueger (1991).	A mayor apertura comercial se incrementan los estándares medioambientales.
	Suri y Chapman (1998).	“Las importaciones de bienes manufacturados de los países industrializados han influido en la fase decreciente de la CKA” (Díaz, 2007, p. 176).
	Tisdell (2001).	Demuestra las limitaciones de la CKA e identifica los efectos positivos y negativos de la globalización económica en los niveles de contaminación.
	Frankel y Andrew (2005); Jáuregui et al., (2008).	El comercio tiende a reducir la contaminación del aire. La mayor apertura al comercio exterior se relaciona con mayores índices de contaminación.
	He (2010).	La liberalización económica puede ser responsable del nivel de emisiones, puesto que controla variables como el consumo de energía y el nivel de urbanización.

IED y el sector industrial	Hettige et al., (2000).	Las empresas transnacionales fomentan la difusión de tecnologías limpias.
	Dinda (2004).	Las diferentes regulaciones ambientales entre los países pueden alterar las ventajas comparativas y, por lo tanto, los flujos comerciales.
	Jenkins (2003).	Se ha promovido la especialización en industrias que contaminan considerablemente el medio ambiente en los casos de Argentina y Brasil; no obstante, en México, una regulación ambiental más estricta ha provocado la especialización en industrias menos contaminantes.
	Andrés-Rosales Mun y Quintana-Romero, (2018).	Existen emisiones contaminantes que se ven impactadas positivamente, ya sea por producción o por el número de empresas que participan en la industria manufacturera, en el caso de grandes empresas se pudo identificar que el cambio tecnológico opera a favor de la reducción de contaminantes
Reducción de la participación del Estado	Afonso y Furceri (2008); Bajo-Rubio (2000); Barro (1991); Bernauer y Koubi (2006).	Un aumento en la participación del gasto público en el PIB se asocia a un empeoramiento de la contaminación atmosférica.
	Afonso y Jalles (2011); Bergh y Karlsson (2010); Halkos (2012); López et al. (2011).	El gasto público también puede impulsar el desempeño económico debido a las externalidades positivas que surgen de la armonización de los conflictos entre intereses privados y sociales, proporcionando una dirección social óptima para el crecimiento, así como compensar las fallas del mercado.

Fuente: Elaboración propia.

3. Metodología y datos

3.1. Antecedentes

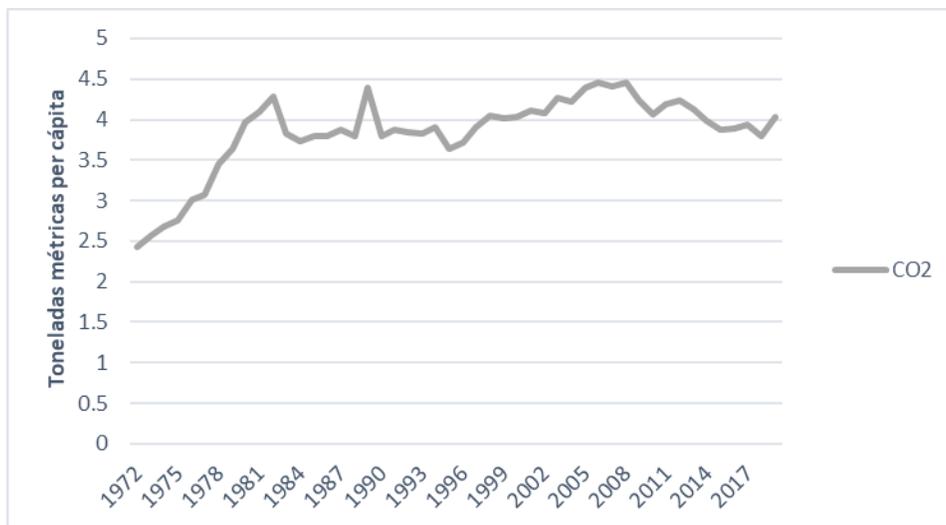
Para contrastar de manera empírica la hipótesis de la CKA en México durante el periodo 1972-2019 se implementaron técnicas econométricas de series de tiempo a un conjunto de variables que, se cree, podrían dar un enfoque diferente al modelo clásico de la curva en función únicamente del ingreso *per cápita*, por lo que se utilizó como variable dependiente a las emisiones de CO₂ en toneladas métricas *per cápita*. Para su explicación se tomaron las variables apertura comercial, el crecimiento económico, el gasto público, el consumo de energía procedente de combustibles fósiles y el peso del sector industrial. Las variables que serán consideradas en el análisis y su descripción se detallan en la **Tabla 2**.

3.2. Estrategia de análisis

3.2.1. Pruebas de cambio estructural

Primeramente, se evaluó la evolución de las variables de interés a lo largo del periodo estudiado. En la **Figura 2** se puede inferir que han ocurrido cambios en el periodo de observación, lo que modifica la tendencia de la variable, especialmente se observa a inicios de los años 90 y después en 2006, lo que podría indicar un proceso de cambio estructural, lo cual, si no se tiene en cuenta, puede afectar de forma importante el análisis de la serie.

Figura 2
 Evolución de las emisiones de CO2 en México 1972-2019



Fuente: Elaboración con información tomada de Banco Mundial (2019), <https://datos.bancomundial.org/indicador/>

Tabla 2
 Variables para el modelo econométrico

Variable	ID	Fuente	Descripción
Emisiones de Dióxido de Carbono CO ₂ (dependiente)	CO ₂	Banco Mundial	Son las que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento. Se miden en toneladas métricas <i>per cápita</i> .
Producto Interno Bruto Per Cápita (independiente)	PIBPC	Banco Mundial	“El PIB per cápita es el producto interno bruto dividido por la población a mitad de año. El PIB es la suma del valor agregado bruto de todos los productores residentes en la economía más todo impuesto a los productos, menos todo subsidio no incluido en el valor de los productos. Se expresan en dólares de los Estados

			Unidos a precios constantes de 2010” (Indexmundi, s.f, párr. 3).
Producto Interno Bruto Per Cápita al cuadrado (independiente)	PIBPC2	Banco Mundial	El PIB <i>per cápita</i> elevado al cuadrado. “Se expresan en dólares de los Estados Unidos a precios constantes de 2010” (Indexmundi, s.f, párr. 3).
Grado de Apertura Comercial (independiente)	AP	Banco Mundial	“Mide el grado de apertura de la economía de un país, considerando su comercio exterior en relación con el conjunto de su actividad económica global” (Infoagro, s.f, p. 1). Se calcula: $\frac{[(Exportaciones + Importaciones)] * 100}{PIB}$
Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (independiente)	CEPPT	Banco Mundial	El combustible fósil comprende los productos de carbón, aceite, petróleo y gas natural. Se expresa como % del total.
Gasto Público (independiente)	GP	Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la Cámara de Diputados	Son los pagos de dinero por actividades operativas del gobierno para la provisión de bienes y servicios. Se expresa como % del PIB.
Peso del sector Industrial (independiente/en logaritmo)	iIND2	Banco Mundial	Corresponde a las divisiones 10 a 45 de la CIU e incluye a las industrias manufactureras (divisiones 15 a 37 de la CIU). Comprende el valor agregado en explotación de minas y canteras, industrias manufactureras, construcción, y suministro de electricidad, gas y agua. Se expresa en valor agregado como % del PIB.

Fuente: Elaboración propia.

Por esta causa se realizaron pruebas de cambio estructural. Al respecto, Pérez y García (2010) indicaron que “Uno de los métodos más utilizados para probar si ha ocurrido un cambio estructural es conocido como la Prueba Chow” (2010, p. 160). Esta prueba “consiste en dividir la muestra en dos submuestras, para luego comparar la suma de errores al cuadrado de la muestra completa con la suma de errores al cuadrado obtenidas de cada una de las submuestras” (Morales, 2019, p. 12). Así pues, “con esto se obtiene un estadístico que tiene una distribución F con (k, n-2k) grados de libertad para contrastar la hipótesis nula de la no existencia de cambio estructural en la fecha dada” (Chow, 1960, como se citó en Morales, 2019, p. 13).

Para esta investigación se decidió utilizar esta prueba, pues se basa en “que dicho cambio es conocido a priori y se utiliza un clásico estadístico F” (Sánchez, 2008, p. 124), escogiendo un punto

de cambio basado en el conocimiento de la serie de tiempo que se está usando. El primer paso fue estimar el modelo adecuado. Como se observa en la **Tabla 3**, el modelo incluye valores rezagados de las variables, debido a su naturaleza es el tiempo que tarda un cambio en alguna de las variables explicativas en afectar las emisiones de CO₂.

Tabla 3
Modelo estimado (no restringido)

CO ₂	Coef.	t	P< t
PIBPC	0.002104	3.43	0.001
PIBPC2	-0.000000109	-3.10	0.004
AP	0.0225035	-2.84	0.007
L3			
CEPPT	-0.0666243	-2.09	0.043
L3			
iIND2	1.934068	3.26	0.002
L1			
GP	0.0389885	3.49	0.001
L2			
CONS	-51.22905	-4.17	0.000
R ² Ajustada= 0.8021			

Nota: Significativo al 5%

Fuente: Procesado y elaborado por el autor a través de software Stata 15

Posteriormente se generan unas variables ficticias (d2) dándole valores de 0 si es < a 1990 y valores de 1 si es >= a 1990 y valores de 0 si es < a 2006 y valores de 1 si es >= a 2006. Con esta variable se corren los modelos restringidos (ver **Tabla 4**).

Tabla 4.
Modelos estimados para prueba de Chow años 1990 y 2006 (modelos restringidos)

Modelo 1	Año<1990			Modelo 2	Año=>1990		
CO ₂	Coef.	t	P< t	CO ₂	Coef.	t	P< t
PIBPC	0.0030966	1.67	0.133	PIBPC	0.0038639	3.96	0.001
PIBPC2	-0.000000454	-1.4	0.199	PIBPC2	-0.000000211	-3.96	0.001
AP	0.0289076	1.19	0.269	AP	-0.0176444	-1.99	0.059
L3				L3			
CEPPT	-0.2195788	-4.37	0.002	CEPPT	-0.037615	-0.87	0.393
L3				L3			
iIND2	2.769945	3.91	0.004	iIND2	2.004442	2.34	0.028
L1				L1			
GP	0.01643	3.91	0.224	GP	0.0281225	1.7	0.103
L2				L2			
CONS	-63.30399	-3.65	0.007	CONS	-63.19956	-3.34	0.003
R ² Ajustada= 0.9402				R ² Ajustada= 0.6315			

Modelo 1				Modelo 2			
Año<2006				Año=>2006			
CO ₂	Coef.	t	P< t	CO ₂	Coef.	t	P< t
PIBPC	0.0009681	0.97	0.341	PIBPC	0.007594	2.85	0.025
PIBPC2	-3.55E-08	-0.58	0.569	PIBPC2	-0.00000396	-2.84	0.025
AP	-0.0222907	-2.25	0.034	AP	-0.0074337	-0.97	0.365
L3				L3			
CEPPT	-0.038212	-1.02	0.316	CEPPT	-0.0445533	-0.59	0.576
L3				L3			
iIND2	1.735598	2.6	0.016	iIND2	0.2671022	0.16	0.875
L1				L1			
GP	0.0395782	3.49	0.002	GP	-0.04832	-1.56	0.162
L2				L2			
CONS	-44.26272	-3.22	0.004	CONS	-33.66146	-0.79	0.455
R ² Ajustada= 0.8445				R ² Ajustada= 0.8846			

Nota: Significativo al 5%

Fuente: Procesado y elaborado por el autor a través de software Stata 15.

Por último se realizó el test. Bajo esta prueba se presenta la hipótesis nula (h0), que especifica que no existen rupturas estructurales, y la hipótesis alternativa (h1), la cual establece que existen rupturas estructurales. Para rechazar h0 el valor del estadístico debe ser menor a 0.05, condición que se cumple para los años 1990 y 2006 (ver **Tabla 5**).

Tabla 5

Prueba de Chow para los años 1990 y 2006

Año 1990								Año 2006							
	d2	id1	id2	id3	id4	id5	id6		d2	id1	id2	id3	id4	id5	id6
-1	d2	=	0					-1	d2	=	0				
-2	id1	=	0					-2	id1	=	0				
-3	id2	=	0					-3	id2	=	0				
-4	id3	=	0					-4	id3	=	0				
-5	id4	=	0					-5	id4	=	0				
-6	id5	=	0					-6	id5	=	0				
-7	id6	=	0					-7	id6	=	0				
	F	(7,31)	=	3.81					F	(7,31)	=	3.19			
		Prob>F	=	0.0043						Prob>F	=	0.0115			

Nota: Significativo al 5%

Fuente: Procesado y elaborado por el autor a través de software Stata 15

De manera adicional, para corroborar los resultados de la prueba de Chow, se hizo una prueba de rotura estructural propia del software Stata. El comando sbknown de Stata prueba una ruptura después de la estimación con regresión y es resistente a formas desconocidas de heterocedasticidad. Esta prueba se puede realizar para más de una rotura estructural si se tiene información sobre cuándo podrían producirse las roturas (ver **Tabla 6**).

Tabla 6.
Prueba de ruptura estructural de Stata para los años 1990 y 2006

Wald test	for structural	break:	known break	date	Wald test	for structural	break:	known break	date
			Number of	obs= 45				Number of	obs= 45
Sample:	1975-2019				Sample:	1975-2019			
Break date	1990				Break date	2006			
Ho: No	structural	break			Ho: No	structural	break		
	Chi2(7) =	26.6475				Chi2(7) =	21.2515		
	Prob>chi2=	0.0004				Prob>chi2=	0.0034		

Nota: Significativo al 5%

Fuente: Procesado y elaborado por el autor a través de software Stata 15.

En esta prueba se presenta la hipótesis nula (h_0), que especifica que no existen rupturas estructurales, así como la hipótesis alternativa (h_1), que establece existen rupturas estructurales. Para rechazar h_0 el valor del estadístico debe ser menor a 0.05. Como se puede apreciar, esta prueba corrobora los resultados de la prueba de Chow, por lo que se dividió la serie en tres periodos para su análisis, a saber:

Modelo 1: 1972-1990, caracterizado por la estrategia de industrialización por sustitución de importaciones.

Modelo 2: 1991-2006, en la que la estrategia gubernamental centró sus objetivos en las políticas de estabilización económica y en sentar las bases para la liberalización comercial.

Modelo 3: 2007-2019, este periodo comienza con la crisis iniciada en agosto de 2007 en el sector inmobiliario de EUA a causa del impago de las hipotecas subprime.

3.2.2. Pruebas de raíces unitarias y cointegración

Por otra parte, la evidencia gráfica muestra una tendencia no estacionaria en el largo plazo para las series, lo cual indica que posiblemente tienen algún tipo de orden de integración. Esto implica la realización de una prueba de raíz unitaria para corroborar la existencia de dicho orden.

La existencia de un cambio estructural en las series que se están modelando “puede afectar al análisis de estacionariedad, condicionando así su tratamiento econométrico” (Presno y López, 2001, p. 123). En este sentido, “el riesgo de llegar a conclusiones erróneas sobre la estacionariedad de una serie puede presentarse tanto si utilizamos contrastes de raíces unitarias como si se aplican contrastes de estacionariedad” (p. 123).

Como señaló Enders (1995, citado en Martínez [s.f.]): “Al utilizar pruebas de raíces unitarias, debe guardarse especial cuidado cuando se sospecha de la existencia de cambio estructural”.

Perron (1989) sostuvo que los test tradicionales de raíz unitaria (Dickey-Fuller, Dickey-Fuller aumentado y Phillips-Perron) tenían poco poder para diferenciar una trayectoria de raíz unitaria de una estacionaria, cuando había cambio estructural (p. 51).

Una solución para eliminar esta problemática y no rechazar la hipótesis nula de la presencia de raíces unitarias de las pruebas Dickey-Fuller y Dickey-Fuller aumentada, cuando existe un cambio estructural en una serie estacionaria, es analizarla por partes, una antes del cambio estructural y otra posterior a este.

Para comprobar si las series de tiempo utilizadas son estacionarias se seleccionaron las pruebas de raíces unitarias de Dickey-Fuller (ADF) y la prueba de Phillips-Perron (PP). Estas se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico Stata. Bajo estas pruebas la hipótesis nula (H_0) específica que existe una raíz unitaria, lo cual quiere decir que la variable no es estacionaria, y la hipótesis alternativa (H_1) establece que no existe una raíz unitaria y, por tanto, la serie es estacionaria.

En la **Tabla 7** se muestran los resultados de las dos pruebas de raíces unitarias y para cada de ellas se indican las variables en niveles, el estadístico y la probabilidad para los modelos propuestos. Luego, en la **Tabla 8** se presenta el resultado de las pruebas de raíces unitarias aplicadas a las series en su primera diferencia, con el fin de descartar que existan varias raíces unitarias. Ambas pruebas se realizaron sin constante y sin tendencia, y con constante y sin tendencia. Específicamente para las pruebas en diferencias se hicieron sin constante y sin tendencia.

Según Gujarati y Porter para rechazar H_0 el valor del estadístico debe ser negativo y mayor en valor absoluto a los valores críticos (2010), por tanto, para ninguna de las pruebas se puede rechazar la hipótesis nula de raíz unitaria, con la cual se concluye que las series no son estacionarias a niveles, pero sí en su primera diferencia para los tres modelos propuestos.

Otro concepto importante dentro de las series de tiempo es la cointegración. En consideración de Mendoza y Quintana la idea de “cointegración supone que dos series presentan un equilibrio de largo plazo entre sí, dando lugar a la anulación de la tendencia común que presentan entre ellas” (s.f., p. 10). Asumir que las variables tienen algún tipo de cointegración en sus primeras diferencias sugiere la estimación de una regresión que, de entrada, podría ser espuria, dado que ya se sabe que estas son no estacionarias.

Por ello, sobre las tres regresiones se examinó la estacionariedad de los residuos con una prueba de raíz unitaria para así concluir si pudiera o no existir dicha cointegración. Esto se realizó por medio de la prueba de Engle-Granger, con la que se especificó y estimó la relación funcional a largo plazo.

En primer lugar, se analizó el número de rezagos de los modelos, los cuales incluyen valores rezagados de las variables. En otras palabras, por su naturaleza, es necesario considerar un periodo transcurrido entre el cambio de la variable y los efectos que este provoca en otras variables.

Tabla 7
 Test de raíces unitarias en niveles: Modelo 1, 2 y 3

		Modelo 1 1972-1990			Modelo 2 1991-2006			Modelo 3 2007-2019		
Variables	Constante/Tendencia	Test de Dickey-Fuller	Test de Phillips-Perron	Rechazo	Test de Dickey-Fuller	Test de Phillips-Perron	Rechazo	Test de Dickey-Fuller	Test de Phillips-Perron	Rechazo
		Estadístico	Estadístico	Ho (95%)	Estadístico	Estadístico	Ho (95%)	Estadístico	Estadístico	Ho (95%)
CO2	Sin constante/Sin tendencia	0.841	0.932	No	1.180	1.501	No	-0.849	-1.042	No
	Con constante/Sin tendencia	-1.949	-1.991	No	-0.186	-0.184	No	-1.735	-1.722	No
PIBPC	Sin constante/Sin tendencia	1.406	0.750	No	1.429	1.683	No	0.722	0.795	No
	Con constante/Sin tendencia	-1.968	-1.772	No	-0.742	-0.631	No	-0.650	-0.646	No
PIBPC2	Sin constante/Sin tendencia	1.053	0.750	No	1.457	1.692	No	0.74	0.808	No
	Con constante/Sin tendencia	-1.791	-1.772	No	-0.637	-0.534	No	-0.600	-0.604	No
AP	Sin constante/Sin tendencia	2.072	2.601	No	1.042	1.060	No	0.700	0.773	No
	Con constante/Sin tendencia	-0.129	0.046	No	-1.206	-1.180	No	-1.331	-1.317	No
CEPPT	Sin constante/Sin tendencia	0.876	0.684	No	0.589	0.845	No	-1.172	0.289	No
	Con constante/Sin tendencia	-2.156	-2.055	No	-1.055	-0.821	No	-1.577	-2.146	No
iIND	Sin constante/Sin tendencia	3.025	2.719	No	1.839	2.275	No	0.324	0.353	No
	Con constante/Sin tendencia	-1.913	-1.887	No	-0.856	-0.744	No	-1.153	-1.190	No
GP	Sin constante/Sin tendencia	0.175	0.227	No	-0.391	-0.457	No	-0.659	-0.467	No
	Con constante/Sin tendencia	-2.107	-2.344	No	-2.783	-2.846	No	-1.052	-3.743	No

Nota: Significativo al 5%

Fuente: Procesado y elaborado por el autor a través de software Stata 15.

Tabla 8
 Test de raíces unitarias en diferencias: Modelo 1, 2 y 3

		Modelo 1 1972-1990			Modelo 2 1991-2006			Modelo 3 2007-2019		
Variables	Constante/Tendencia	Test de Dickey-Fuller	Test de Phillips-Perron	Rechazo	Test de Dickey-Fuller	Test de Phillips-Perron	Rechazo	Test de Dickey-Fuller	Test de Phillips-Perron	Rechazo
		Estadístico	Estadístico	Ho (95%)	Estadístico	Estadístico	Ho (95%)	Estadístico	Estadístico	Ho (95%)
CO2	Sin constante/Sin tendencia	-4.083	-4.171	Si	-4.072	-4.069	Si	-2.786	-2.754	Si
PIBPC	Sin constante/Sin tendencia	-2.233	-2.207	Si	-3.667	-3.670	Si	-3.121	-3.119	Si
PIBPC2	Sin constante/Sin tendencia	-2.296	-2.268	Si	-3.516	-3.523	Si	-3.039	-3.636	Si
AP	Sin constante/Sin tendencia	-3.717	-3.749	Si	-2.782	-2.734	Si	-2.305	-2.345	Si
CEPPT	Sin constante/Sin tendencia	-2.187	-2.677	Si	-4.713	-4.832	Si	-3.266	-3.425	Si
iIND	Sin constante/Sin tendencia	-2.487	-2.411	Si	-3.860	-3.858	Si	-3.610	-3.295	Si
GP	Sin constante/Sin tendencia	-3.412	-2.556	Si	-4.878	-5.021	Si	-7.139	-7.317	Si

Nota: Significativo al 5%. Fuente: Procesado y elaborado por el autor a través de software Stata 15.

Los criterios *Quinn Information Criterion* (HQIC), *Schwarz Bayesian Criterion* (SBIC) y *Akaike's Information Criterion* (AIC) permiten decidir el número correcto de rezagos necesarios para el modelo. Así mismo, para determinar el número óptimo de rezagos se puede realizar un procedimiento secuencial, que se interrumpe cuando los coeficientes de regresión de las variables rezagadas comienzan a ser estadísticamente no significativos.

La forma funcional de las regresiones se especificó con base en el modelo clásico de la CKA más la inclusión de las variables que caracterizan a la liberalización económica.

Modelo 1

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{PIBPC}_t + \beta_2 \cdot \text{PIBPC}_{2t} + \beta_3 \cdot \text{AP}_{t-3} + \beta_4 \cdot \text{CEPPT}_{t-1} + \beta_5 \cdot \text{iIND}_{2t-1} + \beta_6 \cdot \text{GP}_{t-2} + \varepsilon_t$$

Modelo 2

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{PIBPC}_{t-3} + \beta_2 \cdot \text{PIBPC}_{2t-3} + \beta_3 \cdot \text{AP}_{t-1} + \beta_4 \cdot \text{CEPPT}_{t-3} + \beta_5 \cdot \text{iIND}_{2t-1} + \beta_6 \cdot \text{GP}_{t-1} + \varepsilon_t$$

Modelo 3

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{PIBPC}_t + \beta_2 \cdot \text{PIBPC}_{2t} + \beta_3 \cdot \text{AP}_{t-3} + \beta_4 \cdot \text{CEPPT}_{t-2} + \beta_5 \cdot \text{iIND}_{2t} + \beta_6 \cdot \text{GP}_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde y_t corresponde a la emisión acumulada anual de CO2 medida en toneladas métricas per cápita. β_0 se denomina término constante. $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ son los coeficientes de la regresión. PIBPC es el ingreso per cápita. PIBPC2 es el ingreso per cápita al cuadrado. AP es el grado de apertura comercial. CEPPT es el consumo de energía procedente de combustibles fósiles. GP es el gasto público. iIND2 el peso del sector industrial en logaritmos. ε_t es el error. Por último, el subíndice t se refiere al tiempo, que en este caso toma valores de un año.

Después de determinar la relación funcional a largo plazo y señalar el número de rezagos necesarios se procedió a generar los residuos para validar si estos tienen raíz unitaria o no (ver las **Tablas 9, 10 y 11**). Para rechazar H_0 el valor del estadístico debe ser negativo y mayor a los valores críticos en valor absoluto, por lo que para las pruebas realizadas se puede rechazar H_0 y se comprueba que los residuos son estacionarios, así que las series están cointegradas.

Es preciso tener en cuenta que los métodos de regresión requieren que las variables sean estacionarias, finitas y que no cambien a lo largo del tiempo. Por esto, la cointegración hace posible deducir cuándo las variables no mantienen estacionariedad. Las variables usadas en este modelo son estacionarias en primeras diferencias (las variables son I [1]), o sea, que la variable en niveles no es estacionaria, pero su primera diferencia sí.

Tabla 9

Resultados de las pruebas de cointegración modelo 1

	Test Dickey-Fuller		Test Phillips-Perron	
	Estadístico	Valor crítico al 5%	Estadístico	Valor crítico al 5%
error	-6.905	-1.950	-6.630	-1.950

Fuente: Procesado y elaborado por los autores.

Tabla 10
 Resultados de las pruebas de cointegración modelo 2

Test Dickey-Fuller			Test Phillips-Perron	
	Estadístico	Valor critico al 5%	Estadístico	Valor critico al 5%
error	-6.101	-1.950	-6.655	-1.950

Fuente: Procesado y elaborado por el autor

Tabla 11
 Resultados de las pruebas de cointegración modelo 3

Test Dickey-Fuller			Test Phillips-Perron	
	Estadístico	Valor critico al 5%	Estadístico	Valor critico al 5%
error	-4.792	-1.950	-5.218	-1.950

Fuente: Procesado y elaborado por el autor.

El teorema de representación de Engle y Granger (1987) indica que si las variables I (1) están cointegradas se puede desarrollar un modelo estacionario que recoja la relación de largo y corto plazo en un solo sistema llamado modelo de corrección de error (MCE). Los resultados de la estimación de los modelos de largo y corto plazo, así como su análisis, se detallan en la siguiente sección.

4. Resultados

Citando a Brugger (2010):

En la estimación de una ecuación de largo plazo existen momentos de desequilibrio justamente por el carácter aleatorio y complejo de las variables de corto plazo respecto a la relación de largo plazo. De tal forma, puede utilizarse el mecanismo de corrección de error (MCE), que consiste en una especificación econométrica que permite vincular el análisis de equilibrio de largo plazo con la dinámica de ajuste de corto plazo, como una medida de desviación del equilibrio (2010, párr. 1).

En la **Tabla 12** se muestran los modelos correspondientes al periodo analizado.

Tabla 12
 Modelos de largo plazo

Modelo 1 1972-1990				Modelo 2 1991-2006				Modelo 3 2007-2019			
CO ₂	Coef.	t	P< t	CO ₂	Coef.	t	P< t	CO ₂	Coef.	t	P< t
PIBPC	0.0039393	2.39	0.040	PIBPC L3	-0.0124741	-3.7	0.010	PIBPC	0.0309558	13.34	0.001
PIBPC2	-0.000000229	-2.11	0.064	PIBPC2 L2	-0.000000736	-3.68	0.010	PIBPC2	-0.00000152	-13.35	0.001
AP L3	-0.0883481	-5.72	0.000	AP L1	0.0092267	2.37	0.055	AP	-0.0165548	-6.66	0.007

CEPPT L1	-0.2733412	-5.12	0.001	CEPPT L3	0.1573022	4.12	0.006	CEPPT	0.0559686	1.92	0.15
iIND2 L1	4.591302	6.68	0.000	iIND2 L1	1.018773	2.65	0.038	iIND2	-0.0958509	-5.56	0.011
GP L2	0.0442432	3.97	0.003	GP L1	-0.1302871	-2.04	0.087	GP	-13.61629	-10.33	0.002
CONS	-107.8515	-7.08	0.000	CONS	-18.6898	0.91	0.397	CONS	208.2785	7.55	0.005
R² Ajustada	0.9502			R² Ajustada	0.9062			R² Ajustada	0.9838		

Nota: Significativo al 5%.

Fuente: Procesado y elaborado por el autor a través de software Stata 15.

Los tres modelos estimados indican una alta correlación en las variables de acuerdo con su coeficiente de determinación (R²). Se observa que la relación de las emisiones anuales de CO₂ respecto al término lineal del PIB per cápita es positiva, lo cual quiere decir que si crece el PIB también lo hacen las emisiones de CO₂. Por otra parte, el término cuadrático es negativo, esto implica que, en una segunda etapa, cuando el PIB se incrementa, las emisiones de CO₂ se reducen. En el primer modelo se aprecia una relación positiva en las variables industria y gasto público, lo que implica un efecto negativo para el medio ambiente; esto se encuentra estrechamente relacionado con el modelo de industrialización por sustitución de importaciones y un Estado proteccionista. De otro lado, las variables de apertura comercial y consumo de energía proveniente de combustibles fósiles tienen signo negativo, lo que conlleva un efecto favorable para el medio ambiente; esto se puede explicar al descenso del consumo energético en los años 70, consecuencia de la primera crisis energética derivada de la subida del precio del petróleo.

En el segundo modelo se muestra una relación positiva en las variables apertura comercial, industria y consumo de energía proveniente de combustible fósiles, lo que supone un efecto negativo para el medio ambiente; estos resultados son consistentes con el proceso de transformación que vivió el país a inicios de la década de los 90, en el cual “la estrategia gubernamental centró sus objetivos en las políticas de estabilización económica y en sentar las bases para la liberalización comercial que diera impulso a la economía mexicana” (Hernández, 2018, párr. 36), situación que trajo consigo un impacto en el medio ambiente. En cuanto a la variable gasto público tiene signo negativo, lo que implica un efecto favorable para el medio ambiente.

En el tercer modelo se puede observar una relación positiva en la variable consumo de energía proveniente de combustibles fósiles, lo que implica un efecto negativo para el medio ambiente. Las variables apertura comercial, gasto público e industria tienen signo negativo, es decir, un efecto favorable para el medio ambiente. Este periodo está lleno de inestabilidad debido a la crisis internacional de 2007, de modo que se aprecia una contracción de la economía, caída de las exportaciones, de la IED y la inestabilidad en el sector industrial. A pesar de esto, en 2012 se advierte el valor más alto de consumo de energía derivado de combustibles fósiles durante los últimos 45 años.

En general, es posible hacer algunas inferencias con los resultados obtenidos. Como primera medida, la apertura comercial a largo plazo tiene un efecto favorable para el medio ambiente. También se puede deducir que una mayor participación del Estado contribuye al mejoramiento del medio ambiente a través de un mayor gasto centrado en las políticas ambientales. Por otra parte, el

sector industrial, a raíz de la crisis de 2008, presenta mucha inestabilidad y está enfocado en industrias menos contaminantes, por eso el signo negativo del coeficiente.

Como se había comentado, es necesario encontrar una relación que ajuste la discrepancia entre el equilibrio de la relación de largo plazo y la desviación que hay en el pronóstico. Para esto, se llevó a cabo la estimación de los modelos de corto plazo; y para estimarlos primero se tienen que generar las diferencias de las variables estudiadas. El MCE consiste en estimar el modelo con todas las variables en diferencias y con su número óptimo de rezagos; de la misma manera, en la estimación se deben incluir los errores generados del modelo de largo plazo con un rezago. Posteriormente, se realizó un procedimiento secuencial de exclusión de variables que no eran significativas en el modelo a corto plazo, cuyos resultados se presentan en la **Tabla 13**.

En estos modelos el coeficiente correspondiente a error se debe interpretar como la velocidad de ajuste del nivel de emisiones de CO₂ al equilibrio a largo plazo. Si el nivel de emisiones del contaminante se aparta en el periodo t de la tendencia de largo plazo, en el periodo t+1 comenzará a retornar a una velocidad de ajuste cercana al 88 %, 98 % y 99 %, respectivamente. En el segundo modelo también se puede observar que en el corto plazo no existe relación entre las variables gasto público y consumo de energía procedente de combustibles fósiles con las emisiones de CO₂.

Tabla 13
Modelos de corto plazo

Modelo 1	1972-1990			Modelo 2	1991-2006			Modelo 3	2007-2019		
dCO ₂	Coef.	t	P< t	dCO ₂	Coef.	t	P< t	dCO ₂	Coef.	t	P< t
dPIBPC L3	-0.0005016	-5.39	0.002	dPIBPC L2	-0.0116646	-3.27	0.031	dPIBPC	0.0177949	1087.84	0.001
					-0.0001725	-2.97	0.041				
dPIBPC2 L2	-	-3.16	0.020	dPIBPC2 L1	-0.000000546	3.10	0.036	dPIBPC2	-0.000000888	-1087.31	0.001
	0.0000000213				-	3.05	0.038				
					0.0000000154						
dceppt L1	0.346236	10.76	0.000	dAP	-0.0355521	-4.34	0.012	dAP L1	0.0288139	670.20	0.001
dGP L2	0.0382154	5.75	0.001	diIND	13.87271	3.95	0.017	diIND L1	-2.178088	-247.30	0.003
dAP L2	0.0758155	5.76	0.001					dGP L2	-0.0826248	-539.76	0.001
error L1	-0.8839937	-2.8	0.031	error L1	-0.9819891	-2.41	0.074	dceppt L3	-0.631607	-229.51	0.003
CONS	0.04223	1.49	0.186	CONS	-0.0174132	-0.53	0.626	error L1	-0.9925948	-154.67	0.004
R² Ajustada	0.9406			R² Ajustada	0.8554			CONS	-0.109186	-591.93	0.001
				R² Ajustada	1.000						

Nota: Significativo al 5%

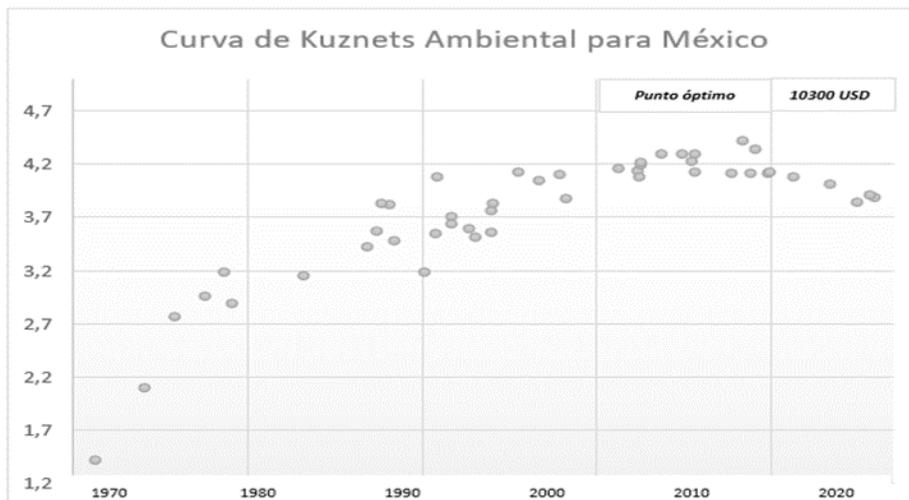
Fuente: Procesado y elaborado por el autor a través de software Stata 15.

Finalmente, se evalúan una serie de condiciones que permiten validar si el modelo se estimó de modo correcto y que las variables explican adecuadamente a la variable dependiente. Así, se validó que los modelos no presentan autocorrelación, heterocedasticidad ni multicolinealidad. Además, se realizaron dos pruebas adicionales, en las que se comprobó que los datos son normales y que los modelos, en general, tienen una forma funcional correcta (ver **Anexo 1**).

Después de hacer los análisis respectivos y comprobar la validez de los datos, en la **Figura 4** se muestra el resultado gráfico de la CKA en el periodo estudiado. Para obtener dicha figura se utilizó la serie del PIB per cápita en dólares estadounidenses a precios constantes de 2010 y las emisiones de CO2 estimadas a partir de los resultados de los coeficientes de los tres modelos propuestos en el periodo 1972-2019. En esta relación las variables apertura comercial, participación del sector industrial, gasto público y consumo de energía per cápita se fueron modificando en función de los coeficientes estimados de cada modelo. Así mismo, en la **Figura 3** se puede observar que existe una relación en forma de U invertida entre las variables CO2 y PIB per cápita, lo cual puede validar la existencia de la CKA para México. Es importante mencionar que esta relación también fue encontrada en el largo y en el corto plazo. Además, al hacer el análisis de primeras diferencias se encontró que las variables presentaron un comportamiento estacionario, lo que dio lugar a 3 MCE, dado que se dividió la muestra en tres periodos gracias a los cambios estructurales que ha sufrido el país en el periodo estudiado. Igualmente, el análisis indicó la posición actual de México en la curva, la cual, para el año 2020, se encontró en la parte donde las emisiones se comienzan a estabilizar.

Cabe destacar que, aunque el ritmo del PIB en periodos de crisis ha limitado la expansión, también ha conservado su tendencia creciente, por lo que la reducción de las emisiones de CO2 puede ser efecto de tal comportamiento. Esto se puede confirmar con los signos del término cuadrático (negativo) de los tres modelos propuestos y permite confirmar lo que postula la hipótesis de la CKA. Entonces, se demuestra que el crecimiento económico en los países en desarrollo se puede convertir en un efecto positivo, puesto que la demanda de bienes y servicios ambientales se hace presente cuando la población tiene la capacidad económica de cubrir sus necesidades básicas.

Figura 3
CKA para México en el periodo 1972-2019

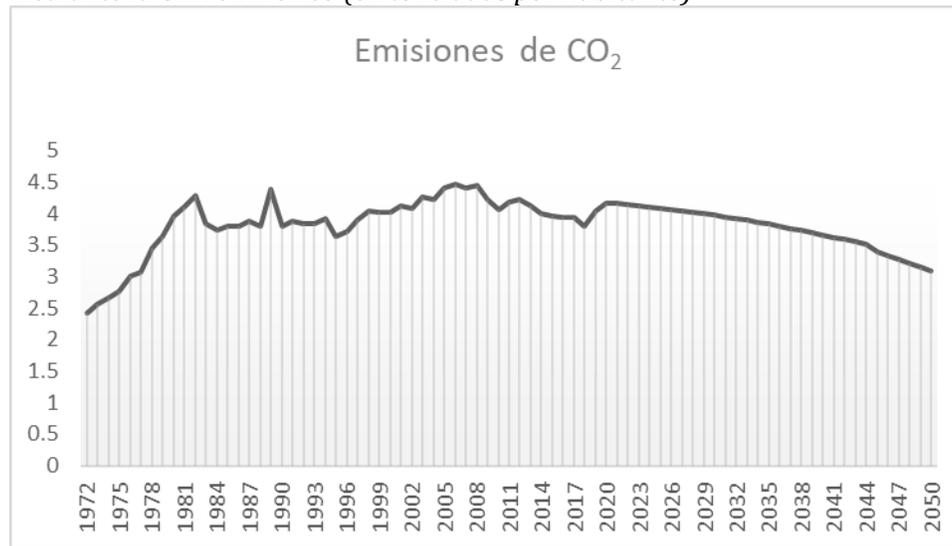


Fuente: Elaborado por el autor de acuerdo a resultados del modelo de regresión.

Adicionalmente, se llevó a cabo una proyección de las emisiones de CO₂ *per cápita* en el país, en la cual se aprecia una tendencia decreciente a partir del año 2008 y una estabilización de emisiones entre las décadas 2020-2030 alrededor de cuatro toneladas por persona, y, en adelante, comenzará a disminuir la trayectoria hacia el año 2040, alcanzando niveles equivalentes a los registrados a inicios de la década de los 2000, cuando las emisiones eran de 3.8 toneladas por persona, aproximadamente (ver **Figura 4**).

Figura 4

Trayectoria original y pronóstico al 2050 de las emisiones de CO₂ per cápita, mediante la CKA en México (en toneladas por habitante)



Fuente: Elaboración con información tomada de Banco Mundial (2019), <https://datos.bancomundial.org/indicador/>

4.1. Consideraciones finales y recomendaciones

Los resultados de los estudios teóricos y empíricos relacionados con el medio ambiente han llegado a conclusiones muy diversas, en especial cuando se analiza la hipótesis de la CKA, sobre la que no se ha llegado a un consenso acerca de si el crecimiento económico es benéfico o no para el medio ambiente. Las críticas a la CKA señalan que se debe ser cauteloso a la hora de extraer conclusiones de los estudios empíricos para la toma de decisiones.

Es importante tener en cuenta todas las implicaciones y las limitaciones que resultan de la estimación de modelos uniecuacionales, pues no se puede concluir que exista una correlación directa entre el crecimiento económico y la mejora del medio ambiente, dado que, como se ha visto, existen otras variables que pueden incidir, por ejemplo, en la respuesta de los gobiernos en cuanto a la implementación de políticas ambientales.

Cabe señalar que el hecho de que la hipótesis se cumpla para algunos contaminantes no necesariamente implica que se cumpla para todos, sobre todo cuando los contaminantes generalmente analizados son aquellos para los que se han establecido medidas tendientes a su

mitigación, de los cuales se suelen disponer bases de datos completas. Otra crítica referente a la CKA es que las estimaciones no toman en consideración la diferencia espacial y temporal que hay entre la actividad económica y el impacto al medio ambiente.

Las críticas exponen algunas de las debilidades de la hipótesis CKA y de los estudios empíricos que se han hecho para contrastarla. De ellas surgió la importancia de seguir investigando las relaciones causales existentes entre el crecimiento económico y el medio ambiente, con el fin de poder obtener conclusiones más sólidas.

En el caso de esta investigación se pretendió resolver algunas de las críticas mencionadas, adicionando otras variables explicativas de las emisiones de CO₂, en particular las que están relacionadas con la liberalización económica; primero, para demostrar que existen otras variables además del PIB que inciden en la calidad medioambiental, y segundo, para realizar un análisis más completo. No obstante, este trabajo no está exento de limitaciones, por lo que se sugieren algunas recomendaciones.

La primera sugerencia es que la calidad ambiental implica gran cantidad de variables que se dejaron por fuera de esta investigación y que posiblemente tienen un impacto importante en el análisis. Hay variables explicativas que son relevantes y que a menudo son omitidas, por ejemplo, en este estudio se demostró que la variable apertura comercial es fundamental por su impacto en las emisiones de CO₂.

Por otra parte, una alternativa a las críticas econométricas, y en especial al análisis de la CKA en forma reducida, es la utilización de modelos de ecuaciones simultáneas que permitan analizar los efectos directos e indirectos de la liberalización económica.

En lo referente a las variables de crecimiento económico, estas no son las únicas que se deben considerar en las investigaciones, además, también se pueden ver afectadas por el contexto económico, político y social del país o región a estudiar. Esto implicaría que las emisiones de CO₂ no necesariamente se generan estrechamente asociadas a la actividad productiva.

Como señaló Ekins (1997, citado en Díaz, 2007):

No todos los países podrían alcanzar el tramo decreciente de la CKA si no varían las pautas de consumo ya que las actividades contaminantes no pueden desplazarse indefinidamente. Es, por tanto, necesario plantearse si los cambios en los patrones de producción han sido acompañados por cambios en las pautas de consumo (p. 186).

En dado caso, de acuerdo con Díaz, se podría “adoptar un enfoque basado en el consumo” (2007, p. 186), tal como propusieron Rothman y de Bruyn (1998). México ha atravesado un profundo proceso de transformación en términos de política ambiental y ha logrado importantes avances en la legislación ambiental y las regulaciones; sin embargo, sigue sufriendo un continuo deterioro ambiental. En la actualidad, la política ambiental del país se rige, básicamente, por los compromisos firmados ante organismos internacionales, y está enfocada, más que todo, en la adaptación y la mitigación del cambio climático.

Por tanto, “México es el primer país en desarrollo, el único de América Latina y el segundo en el mundo que cuenta con una Ley General de Cambio Climático” (Banco Mundial, 2013, párr. 6).

Si bien ha habido avances, y pese a los planes de acción para el cambio climático, el país aún tiene muchos desafíos, y si no cambia el rumbo de la política ambiental en el corto plazo no logrará los objetivos planteados como parte del compromiso firmado en el Acuerdo de París. En este sentido, la revisión y el análisis de las políticas implementadas hasta el momento resulta fundamental.

5. Conclusiones

El estudio realizado permite comprobar el efecto benéfico que tiene la apertura comercial y el gasto público sobre la calidad medioambiental. Al mismo tiempo, al incluir la participación del sector industrial como variable explicativa de la calidad medioambiental, los resultados obtenidos de la estimación efectuada son que contribuye negativamente a la disminución de emisiones de CO₂, igual que el consumo de energía procedente de combustibles fósiles. En el corto plazo no se encontró relación entre las variables gasto público, peso del sector industrial y consumo de energía procedente de combustibles fósiles, solo se encontró relación con la variable apertura comercial.

Es preciso señalar que este estudio se hizo para el periodo 1972-2019, por lo que aún no se observan los efectos de la pandemia de COVID-19, la cual paralizó la actividad económica desde principios de 2020. Sin duda, esta situación modificará los resultados de las investigaciones posteriores.

Adicionalmente, como se había señalado, la demanda de bienes y servicios ambientales se hace presente cuando la población tiene la capacidad económica de cubrir sus necesidades básicas. Este panorama es preocupante, dado que las políticas públicas en los próximos años estarán enfocadas en los diversos problemas económicos y sociales derivados de la crisis, más que en el fomento de las políticas de adaptación y mitigación del cambio climático.

A pesar de los resultados de este estudio, las emisiones mexicanas aún se encuentran lejos del rango requerido al 2030 (45 % debajo de los niveles de 2010) y alcanzar emisiones netas a cero en 2050. En este sentido, se advierte que el descenso de las emisiones de GEI que muestra México puede ser temporal, pues sigue habiendo apoyo sostenido a los combustibles fósiles, tales como petróleo, carbón y gas. Aunado a esto, otra limitación es la debilidad institucional, la corrupción, entre otros aspectos, por lo que las políticas implementadas son frágiles y no logran los impactos deseados.

Por este motivo, la política ambiental encaminada a la adaptación y la mitigación del cambio climático debe considerar estos factores y no solo valorar la idea de “esperar y crecer para resolver o mitigar los impactos negativos del cambio climático”.

Anexo

Tabla 14

Evaluación de los supuestos del modelo (modelo 1)

PRUEBAS APLICADAS	RESULTADO	MULTICOLINEALIDAD	VIF	1/VIF
NORMALIDAD		Variable		
Sktest	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.2811) es mayor a 0.05.	dpibpc L2	2.58	0.387368
Swilk test	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.346339) es mayor a 0.05.	dpibpc2 L3	2.09	0.479455
HETEROSCEDASTICIDAD		dCEPPT L1	1.64	0.610118
Breush-Pagan test	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.9810) es mayor a 0.05.	dGP	1.64	0.610220
White test	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.3782) es mayor a 0.05.	dAP L2	1.54	0.650900
AUTOCORRELACIÓN		dGP L2	1.49	0.670996
Breush-Godfrey lags (2)	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.7107) es mayor a 0.05.	dCEPPT	1.47	0.681871
Durbin Watson	El estadístico DW es 1.827792 por lo que se acepta H0.	error L1	1.41	0.706892
FORMA FUNCIONAL		Mean VIF	1.73	
Ramsey RESET	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.4315) es mayor a 0.05.			

Fuente: Procesado y elaborado por el autor.

Tabla 15.

Evaluación de los supuestos del modelo (modelo 2)

Pruebas aplicadas	Resultado	Multicolinealidad	VIF	1/VIF
NORMALIDAD		Variable		
Sktest	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.2036) es mayor a 0.05.	dpibpc	4840.39	0.000207
Swilk test	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.24343) es mayor a 0.05.	dpibpc2	3294.54	0.000304

HETEROSCEDASTICIDAD				
Breush-Pagan test	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.0860) es mayor a 0.05.	dIND2 dAP	162.60 6.43	0.006150 0.155423
White test	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.3636) es mayor a 0.05.	dPIBPC2 L1	2.65	0.377851
AUTOCORRELACIÓN				
Breush-Godfrey lags (2)	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.4405) es mayor a 0.05.	error L1 dPIBPC L2	1.97 1.28	0.506415 0.782122
Durbin Watson	El estadístico DW es 2.308478 por lo que se acepta H0.	Mean VIF	1187.12	
FORMA FUNCIONAL				
Ramsey RESET	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.1247) es mayor a 0.05.			

Fuente: Procesado y elaborado por el autor.

Tabla 16.

Evaluación de los supuestos del modelo (modelo 3)

Pruebas aplicadas	Resultado	Multicolinealidad	VIF	1/VIF
NORMALIDAD				
Sktest	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.5340) es mayor a 0.05.	Variable dpibpc	999.89	0.001000
Swilk test	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.6594) es mayor a 0.05.	dpibpc2	973.69	0.001027
HETEROSCEDASTICIDAD				
Breush-Pagan test	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.5797) es mayor a 0.05.	dCEPPT L3 diIND2 L1	8.72 6.24	0.114623 0.160177
White test	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.3423) es mayor a 0.05.	dAP L1	3.14	0.318287
AUTOCORRELACIÓN				
Breush-Godfrey lags (2)	Se rechaza H0 ya que el valor p (0.0293) es menor a 0.05.	dGP L2 error L1	2.52 1.53	0.397450 0.653585
Durbin Watson	El estadístico DW es 3.007376 por lo que se rechaza H0.	Mean VIF	285.10	
FORMA FUNCIONAL				
Ramsey RESET	No se rechaza H0 ya que el valor p (0.1247) es mayor a 0.05.			

Fuente: Procesado y elaborado por el autor.

Referencias

- Afonso, A., y Furceri, D.** (2008). Government Size, Composition, Volatility and Economic Growth. *European Central Bank* (849).
- Afonso, A., y Jalles, J.** (2011). Economic Performance and Government Size. European Central Bank Working Paper (1399).
- Agosin, M., y Ffrench-Davis, R.** (1993). La liberalización comercial en América Latina. *Revista de la CEPAL* (30), 41-62. <https://bit.ly/3ilC8W0>
- Andrés-Rosales, R., Mun, N., y Quintana-Romero, L.** (2018). El tamaño de las empresas manufactureras y la contaminación medioambiental en México: Una aproximación espacial. *Eure*, 44(131), 75–99. doi: <https://mail.eure.cl/index.php/eure/article/view/2047>
- Bajo-Rubio, O.** (2000). A Further Generalization of the Solow Growth Model: The Role of the Public Sector. *Economics Letters*, 68(1), 79–84.
- Banco Mundial.** (2013). América Latina, pionera en leyes sobre cambio climático. <https://bit.ly/3N06z29>
- Banco Mundial.** (2019). Indicadores. <https://datos.bancomundial.org/indicador/>
- Barro, R.** (1991). Economic Growth in a Cross Section of Countries. *Journal of Economics*, 106(2), 407–443. doi: <https://doi.org/10.2307/2937943>
- Bergh, A., y Karlsson, A.** (2010). Government Size and Growth: Accounting for Economic Freedom and Globalization. *Public Choice*, 142(1), 195–213. doi: <https://doi.org/10.1007/s11127-009-9484-1>
- Bernauer, T., y Koubi, V.** (2006). Effects of Political Institutions on Air Quality. *Ecological Economics*, 68(5), 1355–1365. <https://bit.ly/3ij100W>
- Bimonte, S.** (2002). Information Access, Income Distribution, and the Environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics*, 41(1), 145–156. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00022-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00022-8)
- Brugger, S.** (2010). Capital especulativo y crisis bursatil en América Latina. Contagio, crecimiento y convergencia (1993-2005). [Tesis doctoral]. <https://bit.ly/3qgz8W>
- Chow, G.** (1960). Tests of Equality Between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions. *Econometrica*, 28(3), 591–605.
- Díaz, M.** (2007). Estudio empírico de las causas subyacentes en la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental: influencia de factores exógenos y análisis de descomposición. Universidad Santiago de Compostela.
- Dinda, S.** (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431–455. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Ekins, P.** (1997). The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence. *Environment and Planning*, 29, 805–830.
- Enders, W.** (1995). *Applied Econometric Time Series*. John Wiley y Son, Inc.
- Engle, R., y Granger, C.** (1987). Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Tesing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/1913236>
- Figini, P., y Santarelli, E.** (2002). Does Globalization Reduce Poverty? Some Empirical Evidence for the Developing Countries. Working Paper, 459.

- Frankel, J.** (2009). Environmental Effects of International Trade. Harvard University. <https://dash.harvard.edu/handle/1/4481652>
- Frankel, J., y Andrew, K.** (2005). Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting Out the Causality. *Review of Economics and Statistics*, 87(1), 85–91.
- Galindo, L.** (2010). *La Economía del Cambio Climático en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).
- García, R.** (2011). Explicación teórica del proceso de apertura comercial de la economía mexicana. *Economía Informa* (369), 5-16. <https://bit.ly/3N0jgdu>
- Grossman, G., y Krueger, A.** (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research*(3914). doi: <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Grossman, G., y Krueger, A.** (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. doi: <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Gujarati, D., y Porter, D.** (2010). *Econometría*. McGraw Hil.
- Halkos, G.** (2012). The Impact of Government Expenditure on the Environment: An Empirical Investigation. *Ecological Economics*, 91, 48–56.
- He, J.** (2010). What is the Role of Openness for China's Aggregate Industrial SO2 Emission? A Structural Analysis based on the Divisia Decomposition Method. *Ecological Economics*, 69(4), 868-886.
- Hernández, J.** (2018). La transformación estructural de la economía mexicana: ¿milagro o desastre económico? *Economía UNAM*, 15(45), 50-69. <https://www.redalyc.org/journal/3635/363557971003/html/>
- Hettige, H., Mani, M., y Wheeler, D.** (2000). Industrial Pollution in Economic Development: The Environmental Kuznets Curve Revisited. *Journal of Development Economics*, 62(2), 445–476. doi: [http://doi.org/10.1016/S0304-3878\(00\)00092-4](http://doi.org/10.1016/S0304-3878(00)00092-4)
- Indexmundi.** (s.f.). Mundo - PIB per cápita. <https://bit.ly/3tfVZfH>
- Infoagro.** (s.f.). Coeficiente de apertura económica y agropecuario. <https://bit.ly/3iev5hR>
- IPCC.** (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Jáuregui, C., González, H., Salazar, J., y Rodríguez, R.** (2008). Free trade and pollution in the manufacturing industry in Mexico: A verification on the Inverse Kuznets Curve at a state level. *Ensayos Revista de Economía*, XXIX(2), 99-119.
- Jenkins, R.** (2003). La apertura comercial: ¿ha creado paraísos de contaminadores en América Latina? *Revista de La CEPAL* (80), 85–100.
- Kuznets, S.** (1955). Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, 45(1), 1–28.
- López, R., Galinato, G., y Islam, F.** (2011). Fiscal Spending and the Environment: Theory and Empirics. *Journal of Environmental Economics and Management*, 62(2), 180–198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2011.03.001>
- Magnani, E.** (2000). The Environmental Kuznets Curve, environmental policy and income distribution. *Ecological Economics*, 32(3), 431-443. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00115-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00115-9)
- Martínez, G.** (s.f.). Raíz unitaria y cambio estructural en las series de tiempo de México. *Denarius*. <https://denarius.izt.uam.mx/index.php/denarius/article/download/301/245/>

- Martínez, L., y Romero, R.** (2004). La Importancia de la Definición de los Derechos de Propiedad en el Efecto de los Tratados de Libre Comercio sobre la Inversión Extranjera Directa. Banco de México, Working Papers, 1-52. <https://bit.ly/3lkg8pg>
- Mendoza, M., y Quintana, L.** (s.f.). Econometría aplicada utilizando R. En Cointegración y modelos de corrección de error. Dgapa.
- Morales, N.** (2019). Identificación de cambios estructurales en los principales índices bursátiles de los países que conforman el MILA entre los años 2008 y 2018 [Tesis de grado]. Universidad de La Salle.
- Naciones Unidas.** (2015). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible. Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656_es.pdf
- Panayotou, T.** (1993). Empirical Test and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. World Employment Research Programme; International Labour Office.
- Panayotou, T.** (1997). Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool. *Environment and Development*, 465-484. <https://www.jstor.org/stable/44379189>
- Pérez, B., y García, M.** (2010). Análisis del cambio estructural en el modelo de regresión lineal. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 159-178. <https://bit.ly/37JAprT>
- Perron, P.** (1989). The great crash, the oil price shock an the unit root hypothesis. *Econometrica*, 57(6), 1361-1401. doi: <https://doi.org/10.2307/1913712>
- Presno, M., y López, A.** (2001). Tratamiento estadístico de series con cambios estructurales. Un caso de estudio. *Revista Asturiana de Economía*, 123-141. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2305268.pdf>
- Roca, J., y Padilla, E.** (2003). Emisiones Atmosféricas y Crecimiento Económico en España. La Curva de Kuznets Ambiental y El Protocolo de Kyoto. *Economía Industrial*, 3(351), 73-86.
- Rothman, D., y de Bruyn, S.** (1998). Environmental Kuznets curves: real progress or passing the buck?: a case for consumption-based approaches. *Ecological Economics*, 25, 143-145.
- Sánchez, P.** (2008). Cambios estructurales en series de tiempo: una revisión del estado del arte. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 7(12), 115-140. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v7n12/v7n12a07.pdf>
- Selden, T., y Song, D.** (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147-162. doi: <https://doi.org/10.1006/jeem.1994.1031>
- Shafik, N.** (1994). Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis. *Oxford Economic Papers*(46), 757-773.
- Shafik, N., y Bandyopadhyay, S.** (1992). Economic growth and environmental quality: Time series and Cross- Country Evidence. Policy Research Working Paper(904).
- Suri, V., y Chapman, D.** (1998). Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25(2), 195-208.
- Tisdell, C.** (2001). Globalisation and Sustainability: Environmental Kuznets Curve and the WTO. *Ecological Economics*, 39(2), 185-196. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00234-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00234-8)
- World Bank.** (1992). World Development Report 1992: Development and the Environment. Oxford University Press, 1(10517), 1-324.